

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-39149

(43)公開日 平成10年(1998) 2月13日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所	
G 0 2 B	6/12		G 0 2 B	6/12	F
	5/18			5/18	
	26/02			26/02	F
H 0 1 S	3/10		H 0 1 S	3/10	Z

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平8-197817

(22)出願日 平成8年(1996) 7月26日

(71)出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72)発明者 角井 素貴

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

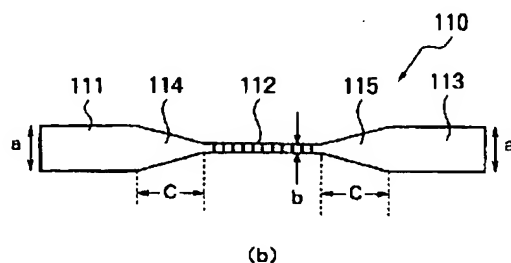
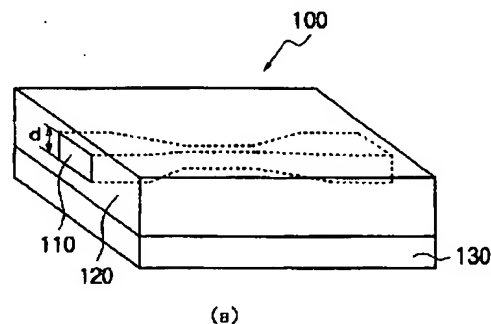
(74)代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54)【発明の名称】 光導波路型回折格子および光ファイバ増幅器

(57)【要約】

【課題】 長波長側には急峻な遮断特性を有するとともに、短波長側には緩やかな遮断特性を有するとともに、遮断する波長の光の反射を低減した、光ファイバ増幅器におけるASE除去に好適な光導波路型回折格子を提供する。

【解決手段】 光の進行方向の途中に、断面積が小さな面積を有するとともに、光の進行方向に沿って、屈折率が周期的に変化する回折格子形成部を有する光導波路部112を備える。そして、光導波路部112での光の閉じ込めを低減するとともに、放射モードとの結合を促して、長波長側には急峻な遮断特性を有するとともに、短波長側には緩やかな遮断特性を有し、遮断する波長の光の反射を低減する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 断面積が第1の面積である第1の光導波路部と、

断面積が前記第1の面積よりも小さな第2の面積であるとともに、光の進行方向に沿って、屈折率が周期的に変化する回折格子形成部を有する第2の光導波路部と、

断面が前記第1の光導波路部の前記進行方向に垂直な断面と略同一の形状である第3の光導波路部と、

前記第1の光導波路部と前記第2の光導波路部とを光学的に結合するとともに、前記第1の光導波路部から前記第2の光導波路部へ向かって、断面積が徐々に減少する第1のテーパ状光導波路部と、

前記第2の光導波路部と前記第3の光導波路部とを光学的に結合するとともに、前記第2の光導波路部から前記第3の光導波路部へ向かって、断面積が徐々に増加する第2のテーパ状光導波路部と、

を備えることを特徴とする光導波路型回折格子。

【請求項2】 前記第1の光導波路部、前記第2の光導波路部、前記第3の光導波路部、前記第1のテーパ状光導波路部、および、前記第2のテーパ状光導波路部は、同一基板上に形成された平面型光導波路である、ことを特徴とする請求項1記載の光導波路型回折格子。

【請求項3】 前記第1の光導波路部、前記第2の光導波路部、前記第3の光導波路部、前記第1のテーパ状光導波路部、および、前記第2のテーパ状光導波路部はファイバ型光導波路である、ことを特徴とする請求項1記載の光導波路型回折格子。

【請求項4】 前記第1のテーパ状光導波路および前記第2のテーパ状光導波路の前記進行方向の長さは、前記第1の光導波路部の前記進行方向に垂直な断面の外径の50倍以上である、ことを特徴とする請求項1記載の光導波路型回折格子。

【請求項5】 前記回折格子形成部における、屈折率変化の周期は、略同一および、前記進行方向に沿って単調かつ連続的に変化しているのいずれか一方である、ことを特徴とする請求項1記載の光導波路型回折格子。

【請求項6】 前記回折格子形成部のブラッグ波長は、1533nm以上、かつ、1540nm以下である、ことを特徴とする請求項5記載の光導波路型回折格子。

【請求項7】 信号光を入力し、増幅して出力する光ファイバ増幅器であって、

入力した信号光と同一の波長の光を増幅して出力するとともに、前記信号光の波長よりも短波長のピーク波長を有するASE光を発生する増幅用光ファイバと、

前記増幅用光ファイバの信号光の出力端より、信号光の進行方向側の光路中に配置された光導波路型回折格子とを備え、

前記光導波路型回折格子は、

断面積が第1の面積である第1の光導波路部と、

断面積が前記第1の面積よりも小さな第2の面積である

とともに、光の進行方向に沿って、屈折率が周期的に変化する回折格子形成部を有し、前記回折格子形成部でのBragg波長が、信号光の波長より短く、かつ、ASE光の前記ピーク波長よりも長い第2の光導波路部と、断面が前記第1の光導波路部の前記進行方向に垂直な断面と略同一の形状である第3の光導波路部と、

前記第1の光導波路部と前記第2の光導波路部とを光学的に結合するとともに、前記第1の光導波路部から前記第2の光導波路部へ向かって、断面積が徐々に減少する第1のテーパ状光導波路部と、

前記第2の光導波路部と前記第3の光導波路部とを光学的に結合するとともに、前記第2の光導波路部から前記第3の光導波路部へ向かって、断面積が徐々に増加する第2のテーパ状光導波路部と、

を備えることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項8】 前記光導波路型回折格子における、屈折率変化の周期は信号光の進行方向に沿って単調かつ連続的に変化し、

前記屈折率変化の周期の長い側が、前記光導波路型回折格子から見て信号光の進行方向の上流側および下流側の前記光導波路型回折格子に向かっているの反射率のより小さい側に向いている、

ことを特徴とする請求項7記載の光ファイバ増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、所定の波長範囲の光を選択的に透過する波長フィルタとして使用される光導波路型回折格子と、この光導波路型回折格子素子を使用した光ファイバ増幅器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光通信の高度化などの光利用の進展に伴い、様々な透過特性を有し、所定の波長を選択的に透過する波長フィルタが必要とされている。こうした光学部品は、効率的な光の伝送や他の光学部品との光学的な結合の観点から、導波路型であることが好ましい。

【0003】光導波路型の波長フィルタとしては、光ファイバや平面型光導波路の一部で、光の進行方向に沿って屈折率を周期的（周期が同一、および、周期が僅かに変化するの双方を含む）に変化させ、回折格子を形成した光導波路型回折格子が知られている。

【0004】一方、導波路型の光増幅器である、希土類添加の増幅用光ファイバを使用した光増幅器では、増幅用光ファイバ中を信号光が進行すると誘導放射によって増幅されるが、同時にノイズ光であるASE（Amplified Spontaneous Emission）光が発生する。例えば、Er添加の増幅用光ファイバと、波長が1.48μmの励起光とを使用した場合、1.55μm帯の信号光を増幅すると、1.531μmをピーク波長としたASE光が発生する。

【0005】こうしたASE光の除去に光導波路型回折

10

20

30

40

50

3

格子を利用した波長フィルタを使用することが提案されている（「M.Kakui et al. : OFC'96 Technical Digest, WF3, ppl18-119」（以後、従来例1と呼ぶ）、米国特許番号：第5,367,589号（以後、従来例2と呼ぶ）など）。

【0006】従来例1では、Er添加の増幅用光ファイバから出力され、光アイソレータを介した光を、光の進行方向での屈折率の変化の周期が徐々に変化する、いわゆるチャープをかけた光導波路型回折格子を経由することによって、1.53 μ m帯のASE光を除去している。

【0007】従来例2では、光の進行方向での屈折率の変化の周期が数100 μ mである、Er添加の増幅用光ファイバの下流側に配置された光導波路型回折格子を経由させることで、1.53 μ m帯のASE光を除去している。

【0008】また、一部に回折格子が形成された光導波路型回折格子の透過特性を変化させつつ、遮断される波長の光の一部を反射光としない技術が「T.Komukai et al., ECOC '95, Proc., Mo.A.3.3, 1995」に開示されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】従来の光導波路型回折格子を使用した光ファイバ増幅器は上記のように構成されるので、以下のような問題点があった。

【0010】従来例1では、光導波路型回折格子のBragg波長を1.53 μ m帯に設定し、非透過波長帯域の長波長側および短波長側での透過率の変化を急峻なものとしている。ところで、Bragg波長が1.53 μ m帯に設定された光導波路型回折格子の1.53 μ m帯の波長の光の非透過特性は、光導波路型回折格子の1.53 μ m帯の波長の光に対する100%に近い反射率を有するという反射特性に由来している。すなわち、従来例1で採用した光導波路型回折格子で非透過であった1.53 μ m帯の波長の光は、この光導波路型回折格子で反射され、入射光と逆方向に進行する。

【0011】したがって、光アイソレータのような方向非可逆性の光部品を介さずに、増幅用光ファイバと光導波路型回折格子を光学的に接続すると、増幅用光ファイバで発生するASE光と同一の波長の光が、増幅用光ファイバに再入射することになる。

【0012】ASE光の波長の光の入射により、増幅用光ファイバでは誘導放射が発生し、入射光と同一の波長の光が増幅されるとともに、一部が光導波路型回折格子に入射して反射される。

【0013】こうして、増幅用光ファイバと光導波路型回折格子との間で、1.53 μ m帯の波長の光の発振が発生する。こうした発振が発生すると、増幅用光ファイバに供給されている励起エネルギーの大部分は、ASEに由来する1.53 μ m帯の波長の光の増幅に消費され、

4

信号光の増幅を効率的に行なうことができなくなる。

【0014】すなわち、従来例1で使用するような波長フィルタとしての光導波路型回折格子は、従来例1のように方向非可逆性の光部品を介した直後に配置しなければならないという、光部品の配置上の制約がある。

【0015】従来例2では、光導波路型回折格子が、従来例1の光導波路型回折格子の屈折率変化の周期の数100倍の周期で屈折率が変化するので、従来例1のような発振の問題は発生しない。しかし、屈折率変化の周期が長いので、光の波長変化に対する透過率の変化が緩やかであり、1.53 μ m帯の波長の光の遮断を目的としても、波長が1540nm以上の光に対しても無視できない遮断の効果を奏してしまう。したがって、信号光の波長帯域として使用できる波長範囲が狭まることになる。

【0016】本発明は、上記を鑑みてなされたものであり、長波長側には急峻な遮断特性を有するとともに、短波長側には緩やかな遮断特性を有するとともに、遮断する波長の光の反射を低減した光導波路型回折格子を提供することを目的とする。

【0017】また、本発明は、信号光を効率的に増幅するとともに、ASE光を効率的に除去して出力する光ファイバ増幅器を提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】請求項1の光導波路型回折格子は、(a)断面積が第1の面積である第1の光導波路部と、(b)断面積が第1の面積よりも小さな第2の面積であるとともに、進行方向に沿って、屈折率が周期的に変化する回折格子形成部を有する第2の光導波路部と、(c)断面が前記第1の光導波路部の前記進行方向に垂直な断面と略同一の形状である第3の光導波路部と、(d)第1の光導波路部と第2の光導波路部とを光学的に結合するとともに、第1の光導波路部から第2の光導波路部へ向かって、断面積が徐々に減少すると第1のテーパ状光導波路部と、(e)第2の光導波路部と第3の光導波路部とを光学的に結合するとともに、第2の光導波路部から第3の光導波路部へ向かって、断面積が徐々に増加すると第2のテーパ状光導波路部とを備えることを特徴とする。

【0019】ここで、(i)第1の光導波路部、第2の光導波路部、第3の光導波路部、第1のテーパ状光導波路部、および、前記第2のテーパ状光導波路部を、同一基板上に形成された平面型光導波路とすることがも可能であるし、(ii)第1の光導波路部、第2の光導波路部、第3の光導波路部、第1のテーパ状光導波路部、および、第2のテーパ状光導波路部をファイバ型光導波路とすることも可能である。

【0020】なお、光導波路部とは、コアとクラッドとによる導波構造の内、主に光が存在するコアを指す。

【0021】請求項1の光導波路型回折格子では、光

5

が、第1の光導波路部および第1のテーパ状光導波路部を順次介して、第2の光導波路部に入射する。第2の光導波路には回折格子形成部が存在するとともに、第2の光導波路部の断面積は、第1の光導波路部の断面積よりも小さく設定されている。

【0022】したがって、回折格子形成部を進行する光は、回折格子形成部における屈折率の周期的変化に応じたモードフィールド径の周期的な変化によって、屈折率の変化周期に応じたBragg波長より短波長側で、放射モードと結合し、光導波路部からの漏れが発生する。

【0023】こうした光の漏れは、回折格子形成部の存在だけでも発生するが、第2の光導波路部の第1の光導波路よりも断面積が小さく設定されているので、導波路部への光の閉じ込めの度合いは低減されており、断面積が第1の光導波路と略同一に設定されている場合よりも、放射モードとの結合度が強まり、漏れ光強度が高くなる。

【0024】この結果、回折格子形成部における屈折率の変化周期に応じたBragg波長より短波長側の遮断特性が向上する。すなわち、非透過光の波長幅が屈折率の変化周期に応じたBragg波長より短波長側に広がることになる。一方、漏れ光は反射光ではないので、光の進行方向とは逆方向に光導波路部を進行することもない。

【0025】回折格子形成部を透過した光は、第2のテーパ状光導波路部および第3の光導波路部を順次介して出力される。

【0026】なお、請求項1の光導波路型回折格子の光導波路部は、平面型光導波路およびファイバ型光導波路のいずれでも実現可能であるが、平面型光導波路を採用すると、エッチング時のマスクパターンの操作で実現可能なので、簡易に請求項1の光導波路型回折格子を製造できる。

【0027】請求項4の光導波路型回折格子は、請求項1の光導波路型回折格子において、第1のテーパ状光導波路および第2のテーパ状光導波路の進行方向の長さは、第1の光導波路部の進行方向に垂直な断面の外径の50倍以上であることを特徴とする。

【0028】屈折率が同一で、断面積が変化する光導波路を光が進行すると、光の進行にともない光にとってのモードフィールド径が変化するので、モード変換による損失が発生する。こうした損失は、モードフィールド径の変化率が大きい程、大きくなる。

【0029】請求項4の光導波路型回折格子では、第1のテーパ状光導波路および第2のテーパ状光導波路の光の進行方向の長さを、第1の光導波路部の断面の外径の50倍以上として、モードフィールド径の変化率を小さくしたので、モード変化による光損失が十分に低減される。

【0030】請求項1の光導波路型回折格子において、

6

回折格子形成部における、屈折率変化の周期を、(i) 略同一とすることも可能であるし、また、(ii) 進行方向に沿って単調かつ連続的に変化させることも可能である。

【0031】なお、現状で一般的な、Er添加の増幅用光ファイバと、波長が1.48μmの励起光とを使用し、1.55μm帯の信号光を増幅する場合に、1.531μmをピーク波長としたASE光を有効に遮断し、かつ、最も発振が発生しやすい1.531μmの光の反射を避けつつ、1.54μm以上の波長範囲を信号光の波長帯域とするには、回折格子形成部のブラッグ波長を1533nmから1540nmまでの範囲内とすることが好ましい。

【0032】請求項7の光ファイバ増幅器は、信号光を入力し、増幅して出力する光ファイバ増幅器であって、

(a) 入力した信号光と同一の波長の光を増幅して出力するとともに、信号光の波長よりも短波長のピーク波長を有するASE光を発生する増幅用光ファイバと、

(b) 増幅用光ファイバの信号光の出力端より、信号光の進行方向側の光路中に配置された光導波路型回折格子とを備え、光導波路型回折格子が、(i) 断面積が第1の面積である第1の光導波路部と、(ii) 第1の面積よりも小さな第2の面積であるとともに、進行方向に沿って、屈折率が周期的に変化する回折格子形成部を有し、回折格子形成部でのBragg波長が、信号光の波長より短く、かつ、ASE光のピーク波長よりも長い第2の光導波路部と、(iii) 断面が第1の光導波路部の進行方向に垂直な断面と略同一の形状である第3の光導波路部と、(iv) 第1の光導波路部と第2の光導波路部とを光学的に結合するとともに、第1の光導波路部から第2の光導波路部へ向かって、断面積が徐々に減少すると第1のテーパ状光導波路部と、(v) 第2の光導波路部と第3の光導波路部とを光学的に結合するとともに、第2の光導波路部から第3の光導波路部へ向かって、断面積が徐々に増加すると第2のテーパ状光導波路部とを備えることを特徴とする。

【0033】請求項7の光ファイバ増幅器では、増幅用光ファイバを介することで、増幅された信号光を含むとともに、信号光の波長よりも短波長のピーク波長を有するASE光を含む光が、Bragg波長が信号光の波長より短く、かつ、ASE光のピーク波長よりも長い回折格子が形成された請求項1の光導波路型回折格子に入射する。

【0034】波長フィルタとしての光導波路型回折格子では、入射光がBragg波長より短波長側で放射モードと結合し、回折格子形成部における屈折率の変化周期に応じたBragg波長より短波長側の遮断特性が向上する。すなわち、非透過光の波長幅が屈折率の変化周期に応じたBragg波長より短波長側に広がることになる。この結果、ASE光のピーク波長の光は、反射光で

7

はなく漏れ光として遮断される。漏れ光は反射光ではないので、光の進行方向とは逆方向に光導波路部を進行しない。

【0035】すなわち、ASE光のピーク波長の光を含むノイズ光のBragg波長より短波長成分は反射されないで、増幅用光ファイバと光導波路型回折格子との間に、光アイソレータのような方向非可逆性の光部品を介さなくても、発振が有効に抑制されている。

【0036】したがって、増幅用光ファイバと光導波路型回折格子との間に、光アイソレータのような方向非可逆性の光部品を介さない構成としても、請求項7の光ファイバ増幅器では、光増幅率を確保しつつ、有効にASE光を遮断した光増幅結果を出力する。

【0037】請求項8の光ファイバ増幅器は、請求項7の光ファイバ増幅器において、(i)光導波路型回折格子における、屈折率変化の周期は信号光の進行方向に沿って単調かつ連続的に変化し、(ii)屈折率変化の周期の長い側が、光導波路型回折格子から見て信号光の進行方向の上流側および下流側の光導波路型回折格子に向かっての反射率のより小さい側に向いていることを特徴とする。

【0038】光導波路型回折格子における放射モードとの結合は、Bragg波長よりも短波長側で発生する。したがって、光導波路型回折格子における屈折率変化の周期は信号光の進行方向に沿って単調かつ連続的に変化する場合には、回折格子形成部の各位置で、その位置におけるBragg波長よりも短波長側で放射モードと結合し、漏れ光を生じさせる。すなわち、回折格子形成部を進行する光は、各位置でその位置におけるBragg波長よりも短波長側の光が遮断され、その位置から先へ進行する光では、その位置におけるBragg波長よりも短波長側の光の強度が低減する。

【0039】請求項8の光ファイバ増幅器では、屈折率変化の周期の長い側が、光導波路型回折格子から見て信号光の進行方向の上流側および下流側の光導波路型回折格子に向かっての反射率のより小さい側に向いている。したがって、反射してきた光の内の最も長波長のBragg波長の光が反射されるとともに、このBragg波長よりも短波長側で放射モードと結合して漏れ光となる。すなわち、最も長波長のBragg波長よりも短波長の光は強度が低減されて、導波路内を進行することになる。

【0040】この結果、最も長波長のBragg波長よりも短波長の光は、Bragg波長が一致する位置に到達したときには、反射光の入射時よりも強度が低減されている。したがって、波長がBragg波長に一致して反射される光の光量は、波長が短くなるほど、反射光の入射時よりも大きく低減される。すなわち、光導波路型回折格子の全体としての反射特性は、波長が短くなるほど反射率が低減することになる。

8

【0041】したがって、請求項8の光ファイバ増幅器では、ASE光の波長の光の波長は効率良く低減されることにより、ASE光の波長範囲の波長の光について発振が有効に抑止されるので、光増幅率を確保しつつ、有効にASE光を遮断した光増幅結果を出力する。

【0042】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の光導波路型回折格子および光ファイバ増幅器の実施の形態を説明する。なお、図面の説明にあたって同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0043】(光導波路型回折格子の第1実施形態)図1は、本発明の光導波路型回折格子の第1実施形態の構成図である。図1(a)は、本実施形態の光導波路型回折格子100の全体図を、図1(b)は本実施形態の光導波路型回折格子100の光導波路部100の平面図を示す。

【0044】図1(a)に示すように、この光導波路型回折格子100は、(a)基板130と、(b)基板130状に形成されたクラッド部120と、(c)クラッド部120内に形成された光導波路部(コア部)110とを備える。

【0045】図1(b)に示すように、光導波路部110は、(i)断面積が面積 $S_1 (= a \cdot d)$ である光導波路部111と、(ii)断面積が面積 S_1 よりも小さな面積 $S_2 (= b \cdot d)$ であるとともに、進行方向に沿って、屈折率が周期的に変化する回折格子形成部を有する光導波路部112と、(iii)断面が光導波路部111の前記進行方向に垂直な断面と略同一の形状である光導波路部113と、(iv)光導波路部111との境界面が面積 S_1 を有するとともに、光導波路部112との境界面が面積 S_2 を有するテーパ状光導波路部114と、(v)光導波路部112との境界面が面積 S_2 を有するとともに、光導波路部113との境界面が面積 S_1 を有するテーパ状光導波路部115とを備える。

【0046】本実施形態の光導波路型回折格子100は、光導波路部110の形成にあたってのエッチング工程でのマスクパターンを操作することによって、容易に製造可能である。

【0047】本実施形態の光導波路型回折格子100では、光が、光導波路部111およびテーパ状光導波路部114を順次介して、光導波路部112に入射する。なお、光導波路部111およびテーパ状光導波路部114中の進行によるモード変換に伴う光損失を低減するため、テーパ状光導波路部114の長さ c は光導波路部111の幅 a よりも50倍以上の長さであることが好ましい。更に、テーパ状光導波路部114の長さ c は光導波路部111の幅 a よりも100倍以上の長さであることがより好ましい。

【0048】光導波路112には回折格子形成部が存在するとともに、光導波路部112の断面積 S_2 は、光導

波路部111の断面積 S_1 よりも小さく設定されている。

【0049】したがって、回折格子形成部を進行する光は、回折格子形成部における屈折率の周期的変化に応じたモードフィールド径の周期的な変化によって、屈折率の変化周期に応じたBragg波長より短波長側で、放射モードと結合し、光導波路部112からの漏れが発生する。

【0050】こうした光の漏れは、回折格子形成部の存在だけでも発生するが、光導波路部112の断面積 S_2 は小さく設定されているので、光導波路部112への光の閉じ込めの度合いは低減されており、光の進行方向に垂直な断面積が面積 S_1 に設定されている場合よりも、放射モードとの結合度が強まり、漏れ光強度が高くなる。

【0051】この結果、回折格子形成部における屈折率の変化周期に応じたBragg波長より短波長側の遮断特性が向上する。すなわち、非透過光の波長幅が屈折率の変化周期に応じたBragg波長より短波長側に広がることになる。一方、漏れ光は反射光ではないので、光の進行方向とは逆方向に光導波路部112および光導波路部111を進行することもない。

【0052】回折格子形成部を透過した光は、テーパ状光導波路部115および光導波路部113を順次介して出力される。

【0053】光導波路部112の回折格子形成部における屈折率変化の周期は、(i) 略同一とすることも可能であるし、また、(ii) 進行方向に沿って単調かつ連続的に変化させることも可能である。

【0054】図2は、屈折率変化の周期が略同一の場合の光導波路型回折格子100の透過特性および反射特性の説明図である。図2(a)は透過率の波長依存性を示すグラフであり、図2(b)は反射率の波長依存性を示すグラフである。なお、回折格子形成部でのBragg波長は λ_0 に設定した。

【0055】図2(a)に示すように、光導波路型回折格子100の透過率は、波長 λ_0 では略0の透過率となるとともに、波長 λ_0 より長波長側で急俊に変化し、一方、波長 λ_0 より短波長側では、放射モードとの結合の結果、緩やかに変化することが確認される。

【0056】図2(b)に示すように、光導波路型回折格子100の反射率は、波長 λ_0 では略1の反射率となるとともに、波長 λ_0 より長波長側および短波長側で急俊に変化することが確認される。

【0057】すなわち、波長 λ_0 付近での光の遮断は、反射によるものであり、波長 λ_0 より短波長側での遮断は、放射モードとの結合によるものであることが確認される。

【0058】図3は、光導波路部112の回折格子形成部における屈折率変化の周期が、光の進行方向に沿って

単調かつ連続的に変化する場合の光導波路型回折格子100の透過特性および反射特性の説明図である。図3

(a)は透過率の波長依存性を示すグラフであり、図3(b)および図3(c)は反射率の波長依存性を示すグラフである。なお、回折格子形成部でのBragg波長は $\lambda_1 \sim \lambda_2$ ($\lambda_1 < \lambda_2$) で連続的に変化するように設定した。

【0059】図3(a)に示すように、光導波路型回折格子100の透過率は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ では略0の透過率となるとともに、波長 λ_2 より長波長側で急俊に変化し、一方、波長 λ_1 より短波長側では、放射モードとの結合の結果、緩やかに変化することが確認される。

【0060】図3(b)は、回折格子形成部のBragg波長の短波長側（すなわち、Bragg波長が λ_1 の側）から光を入射した場合における、反射率の波長依存性を示すグラフである。図3(b)に示すように、光導波路型回折格子100の反射率は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ では略1の反射率となるとともに、波長 λ_2 より長波長側、および、波長 λ_1 より短波長側で急俊に変化する。光の回折格子形成部における放射モードとの結合は、各位置におけるBragg波長より短波長で発生するので、進行方向に存在するより長波長のBragg波長に一致する波長の光は放射モードと結合せず、入射時の強度で進行する。したがって、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ では略1の反射率となっている。

【0061】図3(c)は、回折格子形成部のBragg波長の長波長側（すなわち、Bragg波長が λ_2 の側）から光を入射した場合における、反射率の波長依存性を示すグラフである。図3(c)に示すように、光導波路型回折格子100の反射率は、波長 λ_2 では略1の反射率となるとともに、波長 λ_2 より長波長側で急俊に変化するとともに、波長 λ_2 より短波長側で緩やかに変化する。光の回折格子形成部における放射モードとの結合は、各位置におけるBragg波長より短波長で発生するので、進行方向に存在するより長波長のBragg波長に一致する波長の光が放射モードと結合し、進行にしたがって強度が減少する。したがって、波長 λ_2 より短波長側では反射率が緩やかに変化する。

【0062】(光導波路型回折格子の第2実施形態) 図4は、本発明の光導波路型回折格子の第1実施形態の構成図である。図4(a)は、本実施形態の光導波路型回折格子200の全体図を、図4(b)は本実施形態の光導波路型回折格子200の光導波路部210の構成を示す。

【0063】図4(a)に示すように、この光導波路型回折格子200は、(a) 光を導波すると光導波路部(コア部)210、(b) 光導波路部210の周囲に形成されたクラッド部220とを備える。

【0064】図4(b)に示すように、光導波路部210は、(i) 断面積が面積 $S_1 (= \pi a^2)$ である光導波

路部211と、(ii)断面積が面積S1よりも小さな面積S2($=\pi b^2$)であるとともに、進行方向に沿って、屈折率が周期的に変化する回折格子形成部を有する光導波路部212と、(iii)断面が光導波路部211の前記進行方向に垂直な断面と略同一の形状である光導波路部213と、(iv)光導波路部211との境界面が面積S1を有するとともに、光導波路部212との境界面が面積S2を有するテーパ状光導波路部214と、

(v)光導波路部212との境界面が面積S2を有するとともに、光導波路部213との境界面が面積S1を有するテーパ状光導波路部215とを備える。

【0065】本実施形態の光導波路型回折格子200は、光導波路部210の形成にあたって、複数の光ファイバを接合したり、1つの光ファイバを加熱して延伸したりした後、紫外光の干渉縞を照射することによって容易に製造可能である。

【0066】本実施形態の光導波路型回折格子200では第1実施形態と同様に、光が、光導波路部211およびテーパ状光導波路部214を順次介して、光導波路部212に入射する。なお、第1実施形態と同様に、光導波路部211およびテーパ状光導波路部214中の進行によるモード変換に伴う光損失を低減するため、テーパ状光導波路部214の長さcは光導波路部111の幅aよりも50倍以上の長さであることが好ましい。更に、テーパ状光導波路部114の長さcは光導波路部111の幅aよりも100倍以上の長さであることがより好ましい。

【0067】第1実施形態と同様に、光導波路212には回折格子形成部が存在するとともに、光導波路部212の断面積S2は、光導波路部211の断面積S1よりも小さく設定されている。

【0068】したがって、回折格子形成部を進行する光は、回折格子形成部における屈折率の周期的変化に応じたモードフィールド径の周期的な変化によって、屈折率の変化周期に応じたBragg波長より短波長側で、放射モードと結合し、光導波路部212からの漏れが発生する。

【0069】こうした光の漏れは、回折格子形成部の存在だけでも発生するが、光導波路部212の断面積S2は小さく設定されているので、光導波路部112への光の閉じ込めの度合いは低減されており、光の進行方向に垂直な断面積が面積S1に設定されている場合よりも、放射モードとの結合度が強まり、漏れ光強度が高くなる。

【0070】この結果、第1実施形態と同様に、回折格子形成部における屈折率の変化周期に応じたBragg波長より短波長側の遮断特性が向上する。すなわち、非透過光の波長幅が屈折率の変化周期に応じたBragg波長より短波長側に広がることになる。一方、漏れ光は反射光ではないので、光の進行方向とは逆方向に光導波

路部212および光導波路部211を進行することもない。

【0071】回折格子形成部を透過した光は、テーパ状光導波路部215および光導波路部213を順次介して出力される。

【0072】光導波路部212の回折格子形成部における屈折率変化の周期は、第1実施形態と同様に、(i)略同一とすることも可能であるし、また、(ii)光の進行方向に沿って単調かつ連続的に変化させることも可能である。

【0073】そして、屈折率変化の周期が略同一の場合には図2と同様の特性で、屈折率変化の周期が光の進行方向に沿って単調かつ連続的に変化する場合には、図3と同様の特性で、光を遮断または反射する。

【0074】(光ファイバ増幅器の実施形態)図5は、本発明の光ファイバ増幅器の実施形態の構成図である。図5に示すように、この装置は、(a)信号光を第1の端子から入力して第2の端子から出力するとともに、第2の端子から入力した光を第1の端子からは出力しない光アイソレータ331と、(b)光アイソレータ331の第2の端子から出力された信号光を入力し、増幅して出力する光増幅部310と、(c)光増幅部310から出力された光を第1の端子から入力して第2の端子から出力するとともに、第2の端子から入力した光を第1の端子からは出力しない光アイソレータ332と、(d)光アイソレータ332から出力された光を入力し、光増幅部310で発生したASE光の一部を除去して出力する、波長フィルタとしての光導波路型回折格子100と、(e)光導波路型回折格子100から出力された信号光を入力し、増幅して出力する光増幅部320と、

(f)光増幅部320から出力された光を第1の端子から入力して第2の端子から出力するとともに、第2の端子から入力した光を第1の端子からは出力しない光アイソレータ333とを備える。

【0075】光増幅部310は、(i)エルビウムが添加された増幅用光ファイバ311と、(ii)増幅用光ファイバ311へ供給する励起光を発生する励起部312と、(iii)増幅用光ファイバ311の出力光を透過するとともに、励起光を増幅用光ファイバ311へ導く光カップラ313とを備える。

【0076】光増幅部320は、(i)エルビウムが添加された増幅用光ファイバ321と、(ii)増幅用光ファイバ321へ供給する励起光を発生する励起部322と、(iii)光導波路型回折格子100を介した光を増幅用ファイバ321へ導くとともに、励起光を増幅用光ファイバ321へ導く光カップラ323とを備える。

【0077】光導波路型回折格子100は、回折格子形成部における屈折率変化の周期が、光の進行方向に沿って単調かつ連続的に変化するものを採用するとともに、光アイソレータ332側を短波長側に、光増幅部320

側を長波長側に設定した。なお、光導波路型回折格子100のBragg波長は、1533nmから1540nmの範囲で変化することとした。

【0078】なお、本実施形態での信号光は、波長が1540nmよりも長い1.55μm帯とした。

【0079】本実施形態の光ファイバ増幅器では、信号光が光アイソレータ331を介して光増幅部310に入力し、増幅されて出力される。図6は、光増幅部310から出力される光のスペクトルを示すグラフである。

【0080】図6に示すように、光増幅部310からは、1.55μm帯の信号光の他に、1531nmにピーク波長を有するASE光を含んでいる。図6に示したスペクトルの光が、光増幅部310から出力され、光アイソレータ332を介して、光導波路型回折格子100に入力する。

【0081】図7は、本実施形態の光導波路型回折格子100の透過特性を示すグラフである。図7に示すように、光導波路型回折格子100は、1533~1540nmの波長の光について、略0の透過率を示すとともに、1533nmより短波長側の光についても遮断特性を有する。光導波路型回折格子100を介することにより、図8に示すような、波長が1540nm以下のASE光の成分が除去されたスペクトルの光が光増幅部320に入力する。そして、信号光が増幅されて、光アイソレータ333を介して出力される。

【0082】ところで、光導波路型回折格子100にとって、上流側は光アイソレータ332が配置されているので、反射光は少なく発振の問題が生じる懸念はない。一方、下流側では、増幅用光ファイバ321でのレイリ散乱が原因となって発振の生じる可能性がある。

【0083】本実施形態の装置では、光導波路型回折格子100の光増幅部320側がBragg波長の長波長側となるように設定しているので、反射特性が図3

(c)と同様と成る。したがって、Bragg波長の短い部分と一致する波長の光の反射は、Bragg波長の長い位置での放射モードでの光の光導波路からの漏れによって、低減される。すなわち、効果的に発振が抑制されている。

【0084】以上のようにして、本実施形態の光ファイバ増幅器では、ASE光を効率的に除去しつつ、ASE光の波長での発振を抑制して、効率的に光増幅を実行する。

【0085】本発明は、上記の実施形態に限定されるものではなく変形が可能である。例えば、光ファイバ増幅器の実施形態では、光導波路型回折格子を平面型光導波

路型としたが、ファイバ型光導波路型のものを採用しても同様の効果を奏する。また、Bragg波長の変化範囲は、上記実施形態に限定されるものではなく、遮断すべき波長と、反射としない波長に応じて都度設定することが可能である。

【0086】

【発明の効果】以上、詳細に説明した通り、本発明の光導波路型回折格子によれば、光導波路の途中で光の進行方向での光導波路の断面積を減少させ、光の閉じ込めを低減するとともに、断面積の減少部分に、光の進行方向に沿って、屈折率を周期的に変化させて回折格子を形成したので、回折格子のBragg波長よりも短波長側で効率的に放射モードとの結合が生じ、Bragg波長の長波長側で急峻であり、短波長側で緩やかな変化の遮断特性を実現することができるとともに、Bragg波長以外では反射しない波長フィルタを実現できる。

【0087】また、本発明の光ファイバ増幅器によれば、本発明の光導波路型回折格子をASE光の遮断に使用するので、発振の発生が抑制されるとともに、効果的にASE光を遮断して、効率的な光増幅を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光導波路型回折格子の第1実施形態の構成図である。

【図2】屈折率変化の周期が略一定の場合の透過特性および反射特性のグラフである。

【図3】屈折率変化の周期が単調かつ連続的に変化する場合の透過特性および反射特性のグラフである。

【図4】本発明の光導波路型回折格子の第2実施形態の構成図である。

【図5】本発明の光ファイバ増幅器の実施形態の構成図である。

【図6】増幅用光ファイバから出力される光のスペクトルのグラフである。

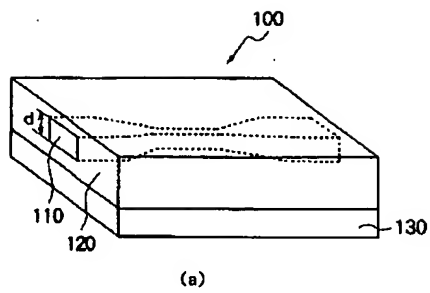
【図7】図5の光導波路型回折格子の透過特性のグラフである。

【図8】光導波路型回折格子を介した光のスペクトルのグラフである。

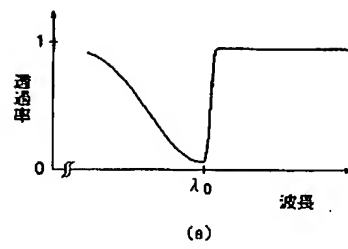
【符号の説明】

100、200…光導波路型回折格子、110、210…光導波路部、120、220…クラッド部、130…基板、111、112、113、211、212、213…光導波路部、114、115、214、215…テーパー状光導波路部、310、320…光増幅部、331、332、333…光アイソレータ。

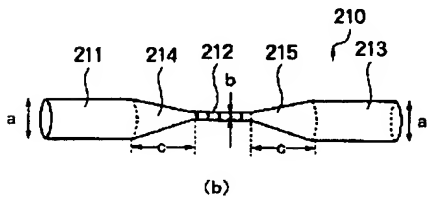
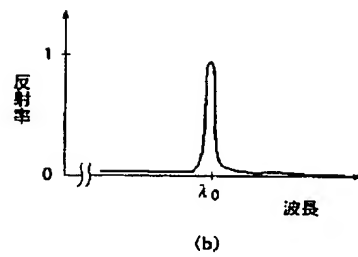
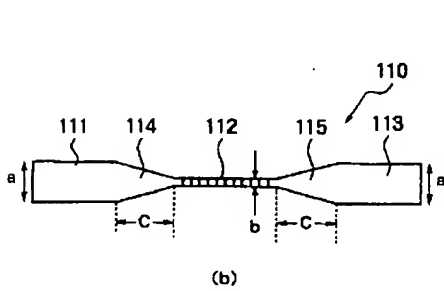
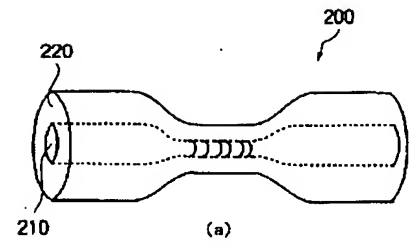
【図1】



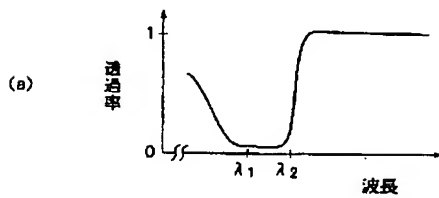
【図2】



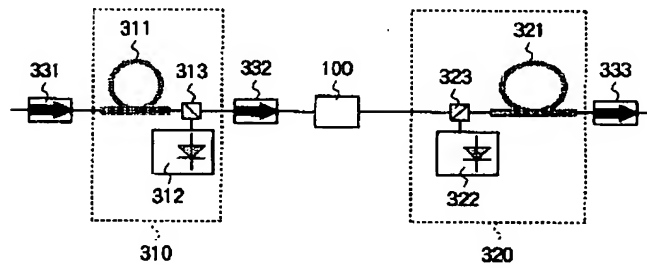
【図4】



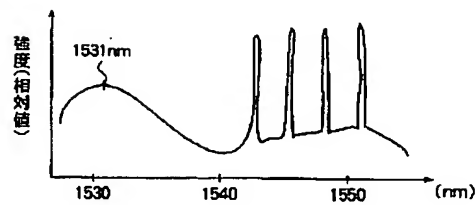
【図3】



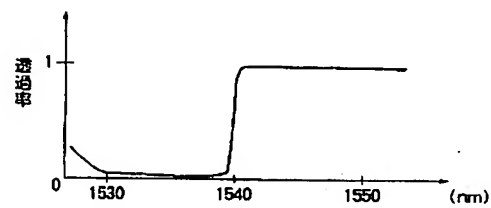
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

